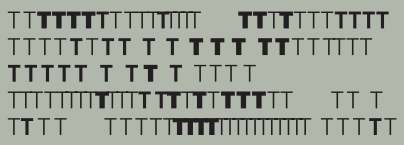
N° 02/2024



Conservatorio
di musica
Giuseppe
Tartini
Trieste

Tartiniana

Discipline Compositive e Nuove Tecnologie

—

Didattica della Musica e dello Strumento

Applicazione digitale finalizzata all'esercizio intonativo mediante toni puri

Umberto Maria Boldarin

© Edizioni del Conservatorio Tartini di Trieste 2024

ISBN 979-12-81895-02-7

Conservatorio di Musica "G. Tartini", Trieste
Dipartimento di Discipline Compositive e Nuove Tecnologie
e Dipartimento di Didattica della Musica e dello Strumento

APPLICAZIONE DIGITALE FINALIZZATA ALL'ESERCIZIO INTONATIVO MEDIANTE TONI PURI

Referente
Prof.ssa Cristina Fedrigo

Assistenza digitale
Prof. Stefano Bonetti

Studente
Umberto Maria Boldarin

INDICE

Applicazione digitale finalizzata all'esercizio intonativo mediante toni puri

1. Introduzione p. 6
2. Caratteristiche fisico-acustiche dei toni puri p. 8
3. Il meccanismo della percezione uditiva p. 9
4. Dalla traduzione alla rappresentazione delle altezze p. 10
5. Aspetti psicoacustici dei rapporti intervallari p. 11
6. Utilizzo dell'applicazione e proposte di esercizi p. 13
7. Sviluppo dell'applicazione e indicazioni tecniche p. 13

1 Introduzione

Di cosa si tratta?

Il progetto di ricerca ha portato allo sviluppo di un'applicazione informatica corredata di un'intuitiva interfaccia grafica (Fig. 1) che consentisse di generare un massimo di 18 toni puri. Questi suoni si prestano particolarmente bene allo studio dei rapporti intervallari e all’esercizio dell’intonazione viste le loro peculiari qualità acustiche. L’estensione delle note va dal SOL3 al DO4 e si possono eseguire mediante appositi pulsanti di tipo *on/off*. I colori scelti per le note formano un gradiente che va dal blu al verde acqua e hanno lo scopo di suggerire la progressiva variazione d’altezza.
Un indicatore numerico posto sulla destra di ogni pulsante indica la frequenza in Hertz di ogni suono con precisione di due unità decimali. Una coppia di fader orizzontali, collocati nella zona inferiore, permette di regolare il diapason, la cui estensione varia da 415 a 450 Hz, e il volume generale.

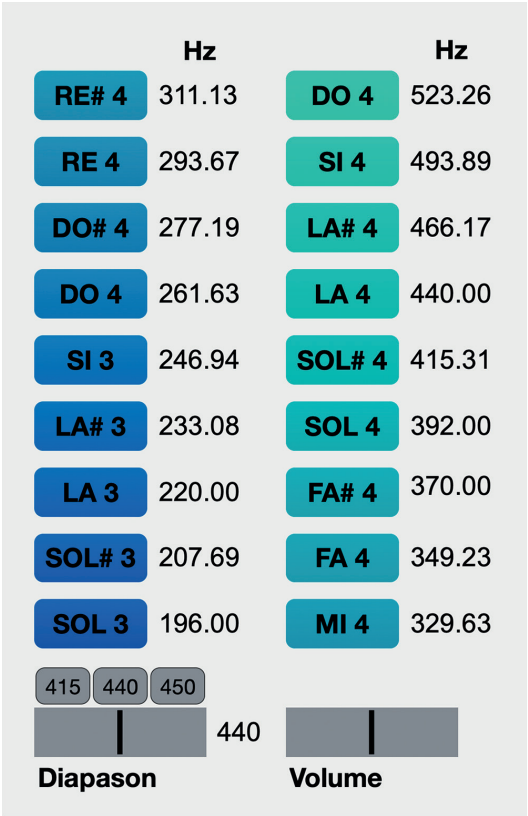


Fig. 1

A chi è destinata questa applicazione?

Il seguente lavoro nasce dall’esigenza di offrire a chiunque desideri studiare l’intonazione musicale, uno strumento preciso, affidabile e intuitivo. L’applicazione consente diversi livelli di approfondimento e utilizzo in base agli utenti: dal neofita che ha iniziato a muovere i primi passi in ambito musicale, allo studente con esperienza o al professionista che vuole monitorare con precisione le sue abilità.
Il tema dell’intonazione non tocca solo precise categorie di musicisti, quali i cantanti che devono da sé trovare la giusta intonazione, o esecutori di strumenti ad arco, ottoni e legni la cui intonazione è strettamente legata al loro intervento sullo strumento. Anche musicisti che suonano strumenti ad intonazione fissa, come il pianoforte, possono beneficiare di questa applicazione per rendere la loro percezione delle altezze più accurata.

Quali sono i risvolti pratici derivanti dall’utilizzo di questa applicazione?

Un musicista che ha studiato con impegno l’intonazione verrà agevolato in molti ambiti come l’ascolto, la lettura musicale, la capacità di interagire con altri musicisti e comprendere più a fondo le strutture armonico-melodiche. Saper riconoscere e produrre un intervallo ben intonato significa avere una consapevolezza dello sviluppo musicale, dell’agogica e di conseguenza delle intenzioni espressive racchiuse in un brano.
Il musicista sarà in grado di capire in modo autonomo se il suo strumento necessita di accordatura o se alcuni membri della formazione in cui suona stanno eseguendo fedelmente le note scritte in partitura. Studiare l’intonazione significa prima di tutto ascoltarsi e saper intervenire sul proprio strumento con aggiustamenti e correzioni efficaci.

Come si propone questo lavoro in relazione agli strumenti ad oggi presenti?

L’applicazione sviluppata si pone come uno strumento semplice ma al contempo professionale. Svariati programmi destinati allo studio musicale riproducono suoni artificiali di strumenti acustici, molto lontani dal suono originale e troppo poco chiari per offrire all’utente una precisa informazione d’altezza. Infine gran parte di queste applicazioni non consente di modificare il diapason, cosa invece che l’applicazione in questione riesce a compiere.
Intervenire in tempo reale sul diapason significa ricalcolare tutte le “distanze” tra i singoli suoni. Uno stesso intervallo eseguito a diverse accordature produrrà effetti diversi e il musicista dovrà sapersi adattare a questi nuovi “spazi”.
Uno studio improntato in questa direzione permetterà di capire che le note musicali non sono entità fisse e immutabili. Cambiano in base al repertorio musicale, all’epoca storica, allo stile dei compositori e alla loro provenienza.

2 Caratteristiche fisico-acustiche dei toni puri

In natura tutti i suoni sono complessi. Ciò significa che il loro contenuto spettrale è ricco di frequenze dette parziali e armoniche. Secondo la teoria di Fourier, ogni suono complesso può essere scomposto in suoni semplici, detti anche toni puri. Sono infatti la forma più semplice di oscillazione acustica poiché non contengono armoniche ma solo la frequenza fondamentale, da cui l’aggettivo “puro”. La loro forma d’onda è di tipo sinusoidale e conserva due qualità sostanziali: la continuità e la ciclicità.
Grazie a queste caratteristiche tali segnali acustici forniscono un’informazione univoca, chiara e costante in merito all’altezza della nota, con una precisione che nessuno strumento musicale può eguagliare.
Questo perché il timbro di strumenti musicali tradizionali viene sempre arricchito da armoniche introdotte da diversi fattori, come il materiale di costruzione, la forma dello strumento o l’interazione con il corpo del musicista. Basti pensare al pizzicato generato dall’unghia del chitarrista che produce un transiente d’attacco molto caratteristico che di fatto arricchisce il timbro semplice di una corda in vibrazione.
I suoni prodotti da strumenti acustici variano nel tempo. Ed è proprio questa la caratteristica che li rende piacevoli e interessanti sotto un profilo musicale. Il loro contenuto spettrale si modifica, le armoniche decadono e trasformano il timbro. Al contrario i toni puri restituiscono, nella loro estrema chiarezza, un suono inequivocabile e costante che ben si presta all’esercizio intonativo.
Nelle immagini riportate qui sotto è possibile visualizzare lo spettro di una stessa nota, un LA3 eseguito con un pianoforte acustico (Fig. 2) e con l’applicazione (Fig. 3).
Senza addentrarci nella terminologia tecnica è sufficiente notare come nello spettro riportato in Fig. 2 sono presenti numerosi picchi che denotano la presenza di frequenze diverse dalla fondamentale.
Nello spettro in Fig. 3 invece vi è un solo picco corrispondente all’esatta frequenza della nota in questione (220,00 Hz). Va da sé che l’informazione acustica trasmessa dall’applicazione è di gran lunga più adatta allo studio fine dell’intonazione non presentando armoniche o frequenze indesiderate che potrebbero confondere l’orecchio.

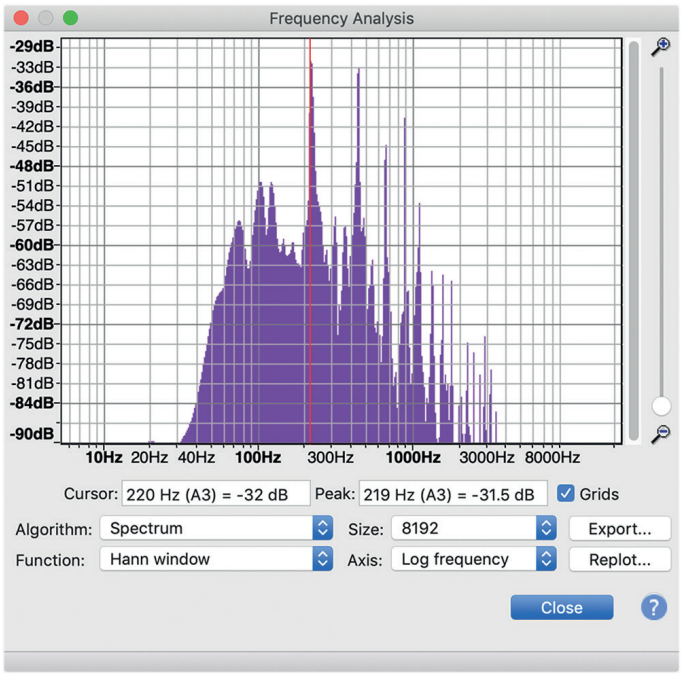


Fig. 2

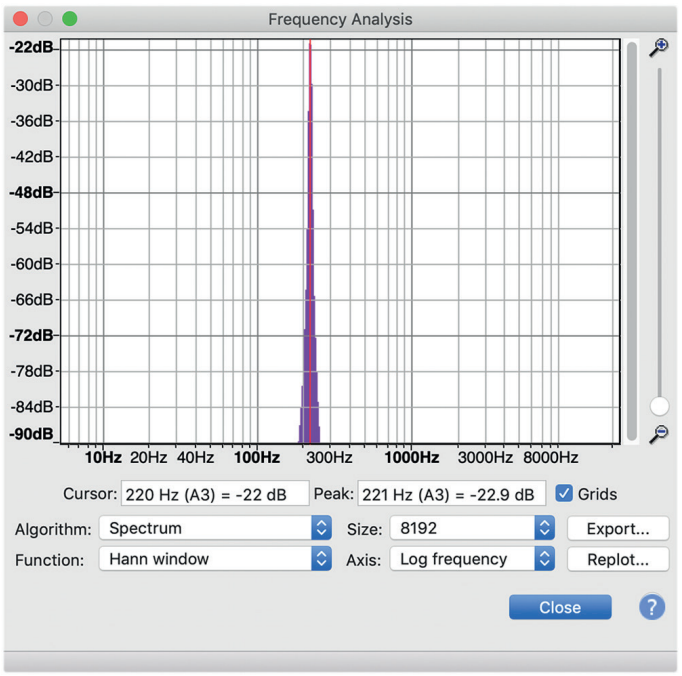


Fig. 3

3 Il meccanismo della percezione uditiva

Per comprendere meglio il motivo della chiarezza dei toni puri ritengo sia indispensabile trattare il funzionamento dell’orecchio umano. Una volta che le vibrazioni acustiche vengono convertite in vibrazioni meccaniche da tre ossicini detti martello, incudine e staffa giungono alla coclea, un organo tubolare, simile a una chiocciola, che contiene un liquido al cui interno sono disposte delle cellule ciliate. Queste rispondono alle diverse frequenze a seconda della loro posizione lungo l’organo. In sostanza ogni frequenza, o gruppo di frequenze, viene analizzato da una ciglia ben precisa (tale processo detto codifica tonotopica). Le vibrazioni delle onde che si propagano lungo la chiocciola deformano la membrana basilare e producono scariche di eccitazione dovute al movimento dei recettori ciliati. La frequenza delle oscillazioni in ingresso determina quale regione della membrana basilare verrà messa in vibrazione. Le alte frequenze raggiungono la massima ampiezza vicino all’entrata della rampa vestibolare (prendendo come riferimento la Fig. 4 in corrispondenza della “base”) mentre le oscillazioni a bassa frequenza solitamente in cima alla spirale (apice). Semplificando, possiamo dire che le vibrazioni in ingresso vengono “smistate” verso le regioni a loro più adatte per essere correttamente tradotte in impulsi neurali dal nervo uditivo.

La membrana basilare è perciò la sede dove ha inizio il meccanismo della discriminazione delle altezze. Alle diverse frequenze rispondono terminazioni nervose differenti, ognuna delle quali ha una propria frequenza di massima risposta. Ne consegue che l’analisi uditiva di suoni complessi, per di più in costante evoluzione, può non portare a una rapida e precisa identificazione dell’altezza desiderata. Ecco spiegata la scelta di adottare nel progetto i toni puri, dal momento che il loro contenuto spettrale risulta unitario e costante nel tempo.
Altro fattore che ha portato alla scelta dei toni puri è l’assenza della cosiddetta altezza virtuale che si può apprezzare chiaramente nei toni complessi. Il cervello infatti ricerca nel suono complesso una configurazione armonica di collegamento tra le varie componenti frequenziali percepite (armoniche e parziali). È indotto quindi a trarre le conclusioni che più si adattano a una configurazione armonica o che in qualche modo considera appropriata. A tal proposito è significativo il fenomeno delle campane, le cui parziali sono spesso in rapporto non armonico, e nonostante ciò l’orecchio riesce a interpretare quel suono ricostruendo una fondamentale che di fatto è un’altezza virtuale.
Le frequenze che compongono il suono della campana vengono così integrate in un suono unico.

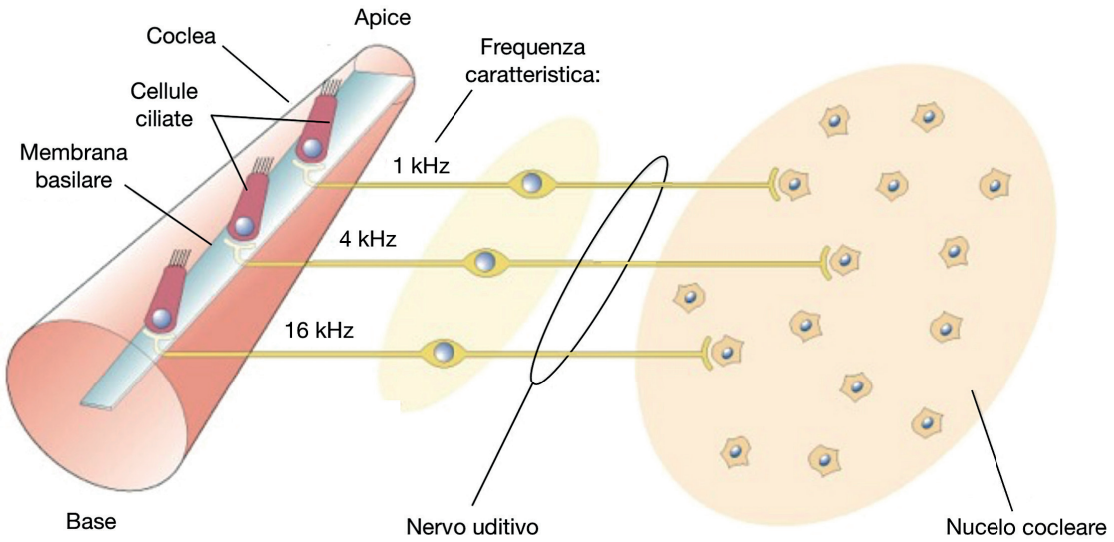


Fig. 4

4 Dalla traduzione alla rappresentazione delle altezze

I processi descritti nei capitoli precedenti offrono le basi per la trattazione del modo in cui le altezze vengono prima tradotte a livello neurale e poi rappresentate a livello mentale. La scelta di disporre i pulsanti delle varie note in senso verticale non è casuale e si basa su tre elementi chiave:

1. **La spirale delle altezze**
2. **La correlazione tra movimento e suono**
3. **Aspetti grafici e utilizzo**

La spirale delle altezze è uno schema che mostra il rapporto tra altezza e croma, quest’ultima è la proprietà di due suoni di essere “più affini” di ogni altra coppia. Lo schema a spirale riportato in Fig. 5 mostra le note distribuite in senso circolare mentre ad ogni giro della spirale corrisponde un salto d’ottava.
A livello fisiologico il cervello cerca di individuare lungo la membrana basilare (di cui ho fatto cenno nel capitolo precedente) le regioni in cui vi è massima sensibilità per suoni isocromatici, come per esempio gli armonici o le ottave che nello schema sono incolonnate. La membrana basilare viene stimolata sempre allo stesso modo da un dato suono e la distribuzione dei siti di eccitazione non cambia. Da qui l’idea di distribuire le note nell’applicazione in ordine sequenziale e direzionale, proprio come i siti di stimolazione all’interno della coclea. In questo modo l’ottava, unità di misura per eccellenza della croma, viene interpretata come uno spazio da colmare la cui direzione è ben definita.

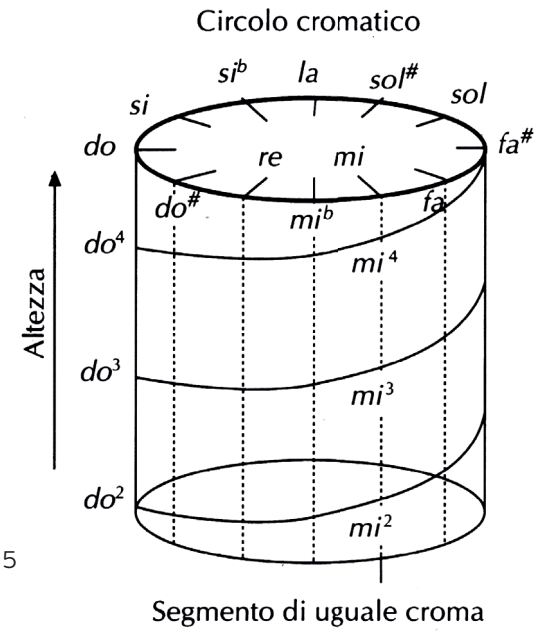


Fig. 5

Il **secondo punto** rimanda al legame tra suono e movimento. Il cambiamento di frequenza viene associato, nei sistemi di notazione musicale come il pentagramma, a un movimento verticale: dal basso, dove vi è presenza di note gravi, alla regione più alta dove sono presenti le note acute.
Sempre all’interno del pentagramma si possono definire alcune macro regioni corrispondenti ai range vocali: soprano, contralto, tenore, baritono e basso (Fig. 6).

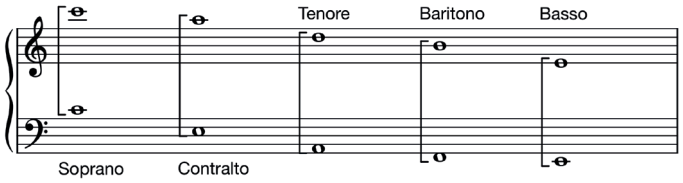


Fig. 6

Il **terzo punto**, ossia quello dell’intuitività, è più legato ad aspetti di tipo grafico e di utilizzo di programmi digitali. Per esempio, non capita spesso di utilizzare un’applicazione che permette di sfogliare i contenuti diagonalmente. È molto più intuitivo e funzionale consultarli come in un libro, ossia lateralmente. Muoversi in senso orizzontale implica un prima (solitamente a sinistra) e un dopo (a destra) che può diventare “visto” e “non visto”. L’applicazione in questione addotta una soluzione grafica ispirata a questo principio: i tasti delle note sono incolonnati in senso crescente, dal basso verso l’alto. Tale disposizione potrà agevolare lo studente ad associare una posizione, assoluta o relativa, all’altezza della nota eseguita.

5 Aspetti psicoacustici dei rapporti intervallari

Un fenomeno interessante che è possibile studiare con l’ausilio dell’applicazione è quello del tono di combinazione detto anche terzo suono. Eseguendo svariati bicordi con il suo strumento, il violinista e compositore Giuseppe Tartini (Pirano d’Istria, 1692 - Padova, 1770) scoprì che era possibile ascoltare un suono risultante ad altezza precisa e in stretta relazione alle note del bicordo suonato.

“Da un suonatore di violino si suonino equitemporaneamente con arcata forte e sostenuta i seguenti intervalli, perfettamente intuonati.
Si sentirà un terzo suono [...] ”

[G. Tartini, *Trattato di Musica secondo la vera scienza dell’armonia, cap. I*]

Il tono di combinazione viene prodotto dall’emissione di due suoni simultanei con la differenza che il terzo suono si forma nell’orecchio interno. I toni devono scostarsi in frequenza di almeno 50 Hz e suonare alla medesima intensità. Il terzo suono avrà una frequenza pari alla differenza dei due toni emessi (ES: SI4 [493,89 Hz] - MI4 [329,63 Hz] = MI3 [164,26 Hz]).

Un esercizio interessante, che lo studente può condurre in autonomia, è quello di impostare nell’applicazione un intervallo e alzare il volume fino a sentire il terzo suono e sfruttarlo, come faceva Tartini, per correggere l’intonazione del bicordo di partenza sul proprio strumento. Una variante di questo esercizio è quella di provare a cantare prima le note del bicordo e in seguito il suono di combinazione. Qualora si trovi in un registro vocale troppo basso è possibile trasportarlo di ottava o scegliere delle note di partenza più comode per il proprio range vocale. Va fatto notare che per apprezzare questo fenomeno è necessaria una sostenuta e costante intensità sonora, cosa che l’applicazione riesce a garantire. La natura dei toni puri permette inoltre di ascoltare con chiarezza il fenomeno acustico dei battimenti che si verifica quando almeno due suoni simultanei, sfasati nel tempo, producono rafforzamenti e indebolimenti ciclici nell’onda sonora.

Nella Fig. 7 sono rappresentate due forme d’onda sinusoidali, quella verde a 10 Hz e quella blu a 12 Hz che suonano contemporaneamente. Il loro sfasamento temporale, prodotto dalla differenza di 2 Hz (12 - 10 = 2Hz) provoca i fenomeni di interferenza costruttiva e distruttiva. Nel primo caso di interferenza le forme d’onda si sommano producendo un ciclico incremento d’ampiezza, nel secondo caso invece, l’ampiezza dei due segnali si cancella parzialmente producendo così una successione di momenti con minor ampiezza. L’andamento dell’intensità sonora dell’onda risultante è descritto dalla forma d’onda rossa.

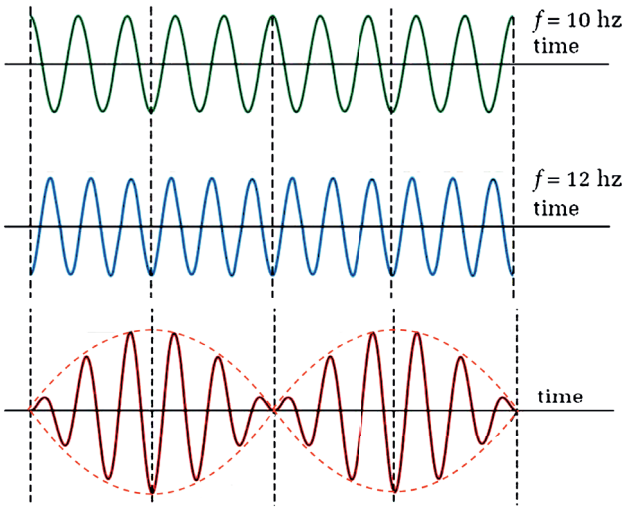


Fig. 7

I battimenti corrispondono dunque alla frequenza con la quale varia l’intensità sonora di due o più onde sonore di frequenza molto simile. I battimenti sono una sensazione utile per il musicista che si appresta allo studio avanzato dell’intonazione. Questo perché la frequenza di battimento è direttamente proporzionale alla “distanza” tra due note. Prendiamo come esempio due coppie di suoni: la prima 400 Hz e 401 Hz avrà una frequenza di battimento pari a 1 Hz mentre la seconda coppia 400 Hz e 407 Hz avrà, a loro volta, una frequenza di battimento pari a 7 Hz.

L’orecchio umano non è capace di distinguere con precisione assoluta la frequenza di tali battimenti ma riuscirà a identificarli con una buona approssimazione. Anche i soggetti meno esperti riusciranno a stabilire se la frequenza di battimento è “veloce” o “lenta”. Lo studente può quindi esercitarsi partendo da una nota dell’applicazione sopra la quale dovrà cantare un secondo suono a distanza di semitono. Questo perché il semitono è l’intervallo con il quale si può apprezzare maggiormente il fenomeno dei battimenti. Riuscire a mantenere l’intonazione della propria voce verrà agevolato proprio dalla frequenza di battimento. Far produrre poi l’intervallo solo dall’applicazione sarà un ottimo metodo per verificare il proprio operato. Una volta che l’orecchio avrà imparato a riconoscere la frequenza di battimento nel semitono lo studente potrà sperimentare allargando sempre di più gli intervalli. È bene far presente che più alte sono le note maggiore sarà la velocità di battimento. Provare quindi con suoni di varie altezze, magari cambiando i valori del diapason, sarà fondamentale per ricercare il range vocale più agevole.
Conclude questo capitolo un altro fenomeno studiato dalla psicoacustica, ossia quello del mascheramento dei suoni. Particolarmente evidente con suoni complessi dall’ampio contenuto spettrale, il mascheramento è dovuto a un innalzamento della soglia di udibilità del suono più debole ad opera del suono più forte.
Il cervello tende quindi a interpretare le oscillazioni generate dal suono debole come delle “fluttuazioni” del suono intenso e nel suo processo di traduzione, le ignora. Suoni prossimi in frequenza si mascherano più facilmente che non suoni ben distinti (in quest’ultimo caso l’effetto è quasi nullo). I suoni di bassa frequenza inoltre sono più efficaci nel mascherare suoni di frequenza superiore e non viceversa.

Approfondire l’intonazione mediante suoni puri permette all’utente di evitare situazioni ambigue come quelle generate dal mascheramento e, al contempo, offre degli strumenti utili (battimenti, terzo suono e chiarezza timbrica) per interiorizzare meglio i rapporti intervallari.
L’applicazione diventa così un *setting* controllato dove l’interferenza di elementi che potrebbero creare confusione è notevolmente limitata.

6 Utilizzo dell'applicazione e proposte di esercizi

Quest'applicazione, come accennato all'inizio, supporta l'esercizio dell'intonazione sia per cantanti che per studenti di musica in generale che desiderano rendere più precisa e affidabile la loro padronanza delle altezze. L'esercizio dovrebbe quindi consentire una maggiore interiorizzazione delle altezze così da poterle richiamare, cantandole o eseguendole sul proprio strumento, con buona prossimità.
Interiorizzare le altezze significa prima di tutto imparare ad ascoltare il suono e svincolarlo dal timbro dello strumento che lo ha prodotto. A tal proposito l'applicazione viene in aiuto riproducendo un suono neutro e senza particolare sonorità timbrica.
Segue poi la rappresentazione ovvero quel processo che porta a conoscere il rapporto tra diverse frequenze. Ciò significa far esperienza dello "spazio" che riempie un intervallo, qualunque sia la sua natura (maggiore, minore, diminuito, ecc...) e grandezza (perfetto, calante, crescente).
Numerosi sono gli esercizi da realizzare con il supporto di questa applicazione, alcuni dei quali sono stati proposti nei capitoli precedenti. Ascoltare in cuffia un suono e cantarne un altro ad altezza diversa è un ottimo punto di partenza. Invertire poi il suono ascoltato con quello cantato mette lo studente nella condizione di conoscere un intervallo da due prospettive.
O ancora, intonarsi a voce su una nota in cuffia e di quest'ultima modificarne in tempo reale il diapason senza variare la propria emissione vocale permette di conoscere i battimenti e prendere dimestichezza con intervalli dalle dimensioni micro-tonali.
Una variante di questo esercizio può essere quella di partire da intervalli diversi dall'unisono come per esempio una terza minore e allargarla progressivamente a una terza maggiore. Così facendo lo studente riuscirà a capire in modo pratico qual è la dimensione di un semitono.
I toni puri dell'applicazione, al contrario di quelli generati da uno strumento, sono costanti nel tempo. Qualità non scontata visto che spesso aiutandosi un pianoforte per trovare la giusta intonazione si è costretti a risuonare più volte la stessa nota per averla sempre nella sua "forma migliore". Il suono dell'applicazione manterrà sempre il volume impostato dall'utente preservando così una chiarezza necessaria allo studio.

7 Sviluppo dell'applicazione e indicazioni tecniche

L'applicazione è stata realizzata in Max MSP, un ambiente di programmazione per l'audio a nodi. Tale progetto può essere eseguito come un programma *standalone* ovvero indipendente da qualsiasi *editor* o codice da compilare manualmente. Basterà effettuare un doppio click sull'icona dell'applicazione per eseguirla. Lo svantaggio di questa versione è il peso, risulta infatti un file sovradimensionato per i processi che compie. Ciò è causato da un limite del programma nell'ottimizzare l'applicazione durante l'esportazione.
Dal punto di vista della prestazione però l'applicazione è risultata altamente reattiva e nessun *bug* è stato riscontrato in fase di test. Per usufruire dell'applicazione servirà un computer con sistema operativo Windows o MacOS e, per lo svolgimento di alcuni esercizi visti nel capitolo precedente, un paio di cuffie o altoparlanti esterni qualora la qualità del sistema audio integrato nel proprio dispositivo non sia soddisfacente.

Bibliografia

Caselli Gabriele, Masetti Giulio, Cecchi Giovanni, *Tartini, il terzo suono e la coclea*, «Music & Physiology», 1 (2018), disponibile online all’indirizzo <https:/openportal.isti.cnr.it/data/2018/447371/2018_447371.published.pdf> (ultimo accesso 29/19/2024)

Cipriani Alessandro, Giri Maurizio, *Musica elettronica e sound design*, ConTempoNet, Roma, 2013

Fedrigo Cristina, Polotti Pietro, Goina Maurizio, Radin Sara, *Gestualità Suono Rappresentazione. Ricerca e sviluppo di risorse per le multimedialità in ambito artistico e pedagogico*, LINT, Trieste, 2012

Frova Andrea, *Fisica nella musica*, Zanichelli, Bologna, 1999

Huber David M., Runstein Robert E., *Manuale della registrazione sonora. Concetti generali di acustica e registrazione musicale*, Hoepli, Milano, 2005

Lanza Andrea, Riganti Alberto, Farina Giulia, Sbrana Gabriella, *Enciclopedia della Musica*, Garzanti, Milano, 1996

Tartini Giuseppe, *Trattato di musica secondo la vera scienza dell’armonia*, Cedam, Padova, 1973 (Riproduzione anastatica dell’ed.: Padova, Stamperia del seminario appresso Giovanni Manfrè, 1754)

Valle Andrea, *Introduzione a Super Collider*, Maggioli, Milano, 2015

Nº 02/2024

Tartiniana

Le risorse informatiche possono aiutare lo studio musicale per quanto riguarda aspetti molto tecnici, come ad esempio il controllo dell'intonazione. Il programma qui proposto è focalizzato sull'esercizio dei rapporti di altezza sonora. L'applicazione permette diversi livelli di utilizzo e può essere fruita da un'ampia varietà di utenti: dal neofita che ha iniziato a muovere i primi passi in ambito musicale, allo studente con esperienza che desidera migliorare il suo metodo di studio, per giungere infine al professionista che intende perfezionare e monitorare con precisione le proprie abilità.

Conservatorio di Musica "Giuseppe Tartini"
Via Carlo Ghega, 12 – 34132 Trieste
T. +39 040 6724911

www.conts.it

ISBN 979-12-81895-02-7